

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ПРЕЦИЗИОННОГО ГС-50

А.С. Орехова

Научный руководитель: д.т.н., профессор Ю.К. Рыбин
Томский политехнический университет
aso11@tpu.ru

Введение

Сейчас остро стоит проблема подавления шумов и защиты от них в электронных устройствах. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании электронных средств измерений, в которых следует своевременно рассматривать задачу минимизации шумов, которые генерируют входящие в них элементы, так как шумы могут оказывать влияние на метрологические характеристики приборов.

Среди средств измерений генераторы электрических сигналов применяются повсеместно в различных областях науки и техники. Особое место среди существующих генераторов сигналов занимают генераторы сигналов синусоидальной формы.

В настоящее время разработаны генераторы сигналов с предельно малыми нелинейными искажениями, в которых искажения снижены до уровня шумов, поэтому исследования шумов в генераторах [1] с малыми нелинейными искажениями весьма актуально. Это же относится и к генератору сигналов прецизионному «ГС-50» (далее – генератор ГС-50).

К шумовым характеристикам выходного напряжения генератора относятся:

- погрешность уровня;
- погрешность начальной фазы сигнала;
- $THD + Noise$ (общий коэффициент гармоник + шум).

Данная работа ставит целью компьютерное моделирование шумовых характеристик модели генератора ГС-50 для исследования влияния собственных шумов элементов схемы генератора на его метрологические характеристики.

Шумовые характеристики компонентов генератора ГС-50

Шум можно рассматривать, как различные электрические сигналы в схеме, изменяющиеся по непериодическим (случайным) законам. Источники шумов можно разделить на три основных группы:

- внутренние источники шумов элементов;
- источники шумов, чье происхождение является искусственным;
- источники шумов, являющиеся следствием возмущений природного происхождения [2].

В данной работе рассматривались такие параметры шумов, как: распределение мгновенных значений шумов, их среднеквадратическое значение и спектральная плотность шума. Практически во всех электронных компонентах присутствуют собственные шумы различной природы.

Возникновение тепловых шумов происходит по причине теплового движения электронов в веществе, из которого состоят резисторы, они задают нижний предельный уровень шумов, который возможно достигнуть в шуме. Кроме тепловых имеются рекомбинационные, дробовые и другие шумы.

Моделирование шумовых характеристик операционных усилителей в генераторе ГС-50

Для того, чтобы проанализировать шумовые характеристики ОУ в программе *NI Multisim* была собрана схема, представленная на рисунке 1.

Данная схема содержит одноканальный ОУ с отрицательной обратной связью, образованной резисторами R1 и R2 и конденсатором C1. Входной сигнал на усилитель не подается. Шумы на выходе возникают за счет внутренних шумов резисторов, конденсатора и ОУ и реализуются с помощью осциллографа и мультиметра.

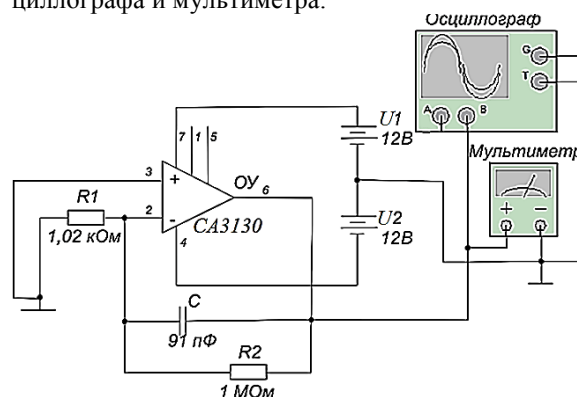


Рис. 1. Схема для моделирования шумовых характеристик ОУ типа CA3130

В результате моделирования была получена следующая осциллограмма (рисунок 2), отражающая шум в данном ОУ. На графике представлена наглядная реализация напряжения на выходе операционного усилителя.

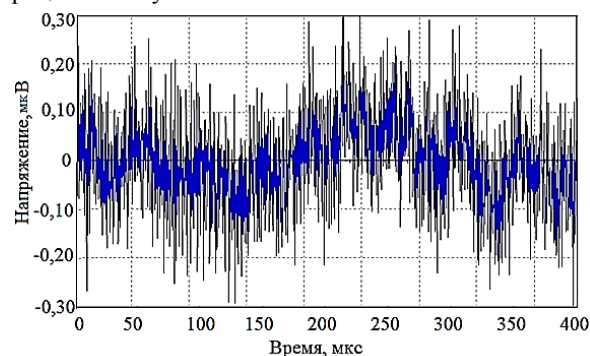


Рис. 2. Осциллограмма напряжения шума ОУ типа CA3130

В таблице 1 приведены напряжения, которые соответствуют пикам амплитуд на полученной осциллограмме.

На основании полученных данных был определен закон распределения шума. Это нужно так как, если известен закон распределения, и он является нормальным, можно вычислить дисперсию, математическое ожидание и среднеквадратическое значение. Которые относятся к основным параметрам случайного процесса.

Таблица 1 - Шум на выходе ОУ без учета шума резисторов

№	U, мкВ	№	U, мкВ
1	-0,105	41	-0,053
2	-0,001	42	-0,088
3	0,080	43	-0,103
4	0,075	44	-0,126
5	0,151	45	-0,055
6	0,214	46	-0,078
7	0,130	47	-0,108
8	0,082	48	-0,068
9	-0,099	49	0,011
...	...	50	0,077

Как известно математическое ожидание говорит о том, что все значения случайной величины колеблются около этого значения. Оно также характеризует такой параметр, как смещение нуля. Дисперсия же олицетворяет уровень шума, а среднеквадратическое значение – шум в исследуемой схеме.

Смотря на гистограмму, представленную на рисунке 3, можно сделать вывод о том, что шум принадлежит нормальному закону распределения, что подтверждает утверждение данное в [3]. Гистограмма была построена с помощью программы CorelDRAW X8.

На основании полученных данных были вычислены математическое ожидание (смещение нуля), дисперсия (уровень шума) и среднеквадратическое значение шума.

Как видно из гистограммы на рисунке 3, шум незначительно сместился в положительную сторону, вычисленная оценка математического ожидания это подтверждает.

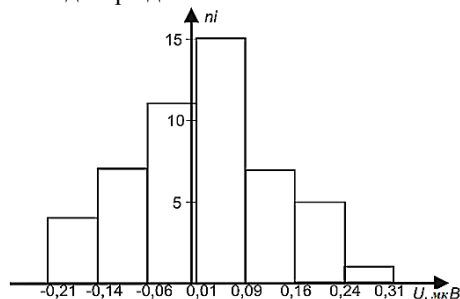


Рис. 3. Гистограмма распределения амплитуды напряжения шума ОУ типа CA3130

$$M[x] = \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x. \quad (1)$$

$$M[x] = 0,011 \text{ мкВ.}$$

Согласно Datasheet на ОУ типа CA3130 смещение нуля может находиться в пределах от минус 6

до плюс 6 мВ. Как видно, смещение нуля данного усилителя лежит в допустимом пределах и достаточно мало, что говорит о качестве данного усилителя.

Была оценена дисперсия шума по формуле (2):

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2. \quad (2)$$

$$S^2 = 0,015 \cdot 10^{-12} \text{ В}^2.$$

Среднеквадратическое значение шума ОУ равнялось (3):

$$U_{\text{шОУ}} = \sqrt{S^2}. \quad (3)$$

$$U_{\text{шОУ}} = 0,124 \text{ мкВ.}$$

Сравнение напряжений шумов на выходе схемы с операционным усилителем

Используя схему на рисунке 4, сравним шумы операционного усилителя, полученные посредством моделирования и экспериментально. При неизменных сопротивлениях резисторов: R1 = 1,02 кОм, R2 = 1 МОм; емкости конденсатора: C1 = 91 пФ; температуры окружающей среды во время проведения эксперимента: T = 296 °K.

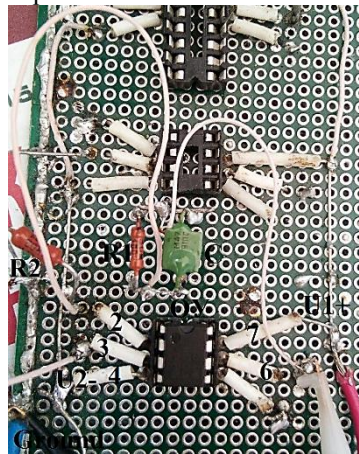


Рис. 4. Схема экспериментального макета для исследования шумов ОУ

Полученное экспериментально значение шумов, равная 1,41 мкВ, превышает, полученное посредством моделирования. Это прежде всего связано с недостаточным хорошим экранированием схемы, погрешностью средств измерений, наличием контактных шумов.

Заключение

В результате работы были исследованы шумовые характеристики операционного усилителя, используемого в генераторе ГС-50.

Рекомендуется использовать операционные усилители с наименьшим уровнем шума, так как это позволит снизить уровень шума во всей схеме.

Список использованных источников

- 1 Рыбин Ю.К. Электронные устройства: Учебное пособие. / Ю.К. Рыбин. – Томск: Из-во: «Печатная мануфактура», 2003. – 264 с.
- 2 Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах./Г. Отт. – М. : Мир, 1974. – 320 с.
- 3 Оптимизация шумовых параметров сигнальных цепей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [191](https://www.compel.ru/lib/ne/2015/9/4-optimizatsiya-shumovyyih-parametrov-signalnyih-tsepey-chast-1, свободный. – Загл. с экрана.

</div>
<div data-bbox=)